

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

04.06.03

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2002年 6月12日

REC'D 25 JUL 2003

出願番号
Application Number: 特願2002-172109
[ST. 10/C]: [JP 2002-172109]

WIPO PCT

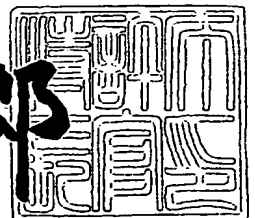
出願人
Applicant(s): 科学技術振興事業団

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2003年 7月 9日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



BEST AVAILABLE COPY

【書類名】 特許願

【整理番号】 P2124JST.

【提出日】 平成14年 6月12日

【あて先】 特許庁長官 殿

【発明者】

【住所又は居所】 東京都世田谷区上北沢 3-32-6 エステージ上北沢
303

【氏名】 古田 貴之

【発明者】

【住所又は居所】 東京都文京区本駒込 6-23-16

【氏名】 田原 哲雄

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県藤沢市本鵠沼 2-3-21

【氏名】 奥村 悠

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県川越市西小仙波町 2-18-3

【氏名】 北野 宏明

【発明者】

【住所又は居所】 東京都新宿区新宿 1-34-3

【氏名】 清水 正晴

【特許出願人】

【識別番号】 396020800

【氏名又は名称】 科学技術振興事業団

【代理人】

【識別番号】 100082876

【弁理士】

【氏名又は名称】 平山 一幸

【電話番号】 03-3352-1808

【選任した代理人】

【識別番号】 100069958

【弁理士】

【氏名又は名称】 海津 保三

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 031727

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0013677

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 歩行式移動装置及びその歩行制御装置及び歩行制御方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 本体と、本体の下部両側にて二軸方向に揺動可能に取り付けられた中間に膝部を有する複数本の脚部と、各脚部の下端に二軸方向に揺動可能に取り付けられた足部と、各脚部、膝部及び足部を揺動させる駆動手段と、要求動作に対応して、目標角度軌道、目標角速度、目標角加速度を含む歩容データを生成する歩容生成部と、この歩容データに基づいて上記駆動手段を駆動制御する歩行制御装置と、を備えており、

上記歩行制御装置が、各足部における足裏に加わる力を検出する力センサと、上記力センサで検出された力のうち、水平床反力に基づいて歩容生成部からの歩容データを修正する補償部と、を含んでいる二脚歩行式移動装置であって、

上記力センサが、各足部の足裏の複数に分割された領域にそれぞれ備えられていて、各足裏の端縁に隣接する領域に備えられた力センサが、それぞれ足側面の接触を検知すると共に、

上記補償部が、足側面の接触を参照しながら、歩容生成部からの歩容データを修正することを特徴とする、歩行式移動装置。

【請求項 2】 前記各分割部にそれぞれ備えられた力センサが、三軸力センサであって、前記各足裏の端縁に隣接する領域にて、対応する力センサの検出部材としてのソール外縁の少なくとも一部が、当該力センサを中心とする円弧面を形成していることを特徴とする、請求項 1 に記載の歩行式移動装置。

【請求項 3】 前記各分割部にそれぞれ備えられた力センサが、三軸力センサであって、前記補償部が、各力センサからの検出信号に基づいて、六軸方向の力を演算する六軸力算出部と、力成分の分解により足側面の接触を検出する接触検知部と、を備えていることを特徴とする、請求項 1 又は 2 に記載の歩行式移動装置。

【請求項 4】 前記接触検知部は、各力センサからの検出信号が、床面からの力によるものか、床面上の物体との接触によるものかを判断して、どの力センサが足側面の接触を検出したかのフラグ情報を補償部に出力することを特徴とす

る、請求項 2 又は 3 に記載の歩行式移動装置。

【請求項 5】 本体と、本体の下部両側にて二軸方向に揺動可能に取り付けられた中間に膝部分を有する複数本の脚部と、各脚部の下端に二軸方向に揺動可能に取り付けられた足部と、各脚部、膝部及び足部を揺動させる駆動手段と、から成る歩行式移動装置に関して、要求動作に対応して歩容生成部により生成される、目標角度軌道、目標角速度、目標角加速度を含む歩容データに基づいて上記駆動手段を駆動制御すると共に、各足部における足裏に加わる力を検出する力センサと、上記力センサで検出された力のうち、水平床反力に基づいて歩容生成部からの歩容データを修正する補償部と、を含んでいる歩行式移動装置の歩行制御装置であって、

上記力センサが、各足部の足裏の複数に分割された領域にそれぞれ備えられていて、各足裏の端縁に隣接する領域に備えられた力センサが、それぞれ足側面の接触を検知すると共に、

上記補償部が、足側面の接触を参照しながら、歩容生成部からの歩容データを修正することを特徴とする、歩行式移動装置の歩行制御装置。

【請求項 6】 前記各分割部にそれぞれ備えられた力センサが、三軸力センサであって、前記各足裏の端縁に隣接する領域にて、対応する力センサの検出部材としてのソール外縁の少なくとも一部が、当該力センサを中心とする円弧面を形成していることを特徴とする、請求項 5 に記載の歩行式移動装置の歩行制御装置。

【請求項 7】 前記各分割部にそれぞれ備えられた力センサが、三軸力センサであって、前記補償部が、各力センサからの検出信号に基づいて、六軸方向の力を演算する六軸力算出部と、力成分の分解により足側面の接触を検出する接触検知部と、を備えていることを特徴とする、請求項 5 又は 6 に記載の歩行式移動装置の歩行制御装置。

【請求項 8】 前記接触検知部は、各力センサからの検出信号が、床面からの力によるものか、床面上の物体との接触によるものかを判断して、どの力センサが足側面の接触を検出したかのフラグ情報を補償部に出力することを特徴とする、請求項 6 間かには記載の歩行式移動装置の歩行制御装置。

【請求項 9】 本体と、本体の下部両側にて二軸方向に揺動可能に取り付けられた中間に膝部分を有する複数本の脚部と、各脚部の下端に二軸方向に揺動可能に取り付けられた足部と、各脚部、膝部及び足部を揺動させる駆動手段と、から成る歩行式移動装置に関して、要求動作に対応して歩容生成部により生成される、目標角度軌道、目標角速度、目標角加速度を含む歩容データに基づいて上記駆動手段を駆動制御すると共に、各足部における足裏に加わる力を力センサにより検出して、上記力センサで検出された力のうち、水平床反力に基づいて、補償部により歩容生成部からの歩容データを修正する、歩行式移動装置の歩行制御方法であって、

各足部の足裏の複数に分割された領域にてそれぞれ力センサにより力を検出する第一の段階と、

各力センサのうち、足裏の端縁に隣接する領域に備えられた力センサからの検出信号により、それぞれ足側面の接触を検知する第二の段階と、

上記補償部が、足側面の接触を参照しながら、歩容生成部からの歩容データを修正する第三の段階と、

を含んでいることを特徴とする、歩行式移動装置の歩行制御方法。

【請求項 10】 前記各分割部にそれぞれ備えられた力センサが、三軸力センサであって、前記各足裏の端縁に隣接する領域にて、対応する力センサの検出部材としてのソール外縁の少なくとも一部が、当該力センサを中心とする円弧面を形成していることを特徴とする、請求項 9 に記載の歩行式移動装置の歩行制御方法。

【請求項 11】 前記各分割部にそれぞれ備えられた力センサが、三軸力センサであって、前記補償部が、各力センサからの検出信号に基づいて、六軸方向の力を演算する六軸力算出部と、力成分の分解により足側面の接触を検出する接触検知部と、を備えていることを特徴とする、請求項 9 又は 10 に記載の歩行式移動装置の歩行制御方法。

【請求項 12】 前記接触検知部は、各力センサからの検出信号が、床面からの力によるものか、床面上の物体との接触によるものかを判断して、どの力センサが足側面の接触を検出したかのフラグ情報を補償部に出力することを特徴と

する、請求項 1 0 又は 1 1 に記載の歩行式移動装置の歩行制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、歩行式移動装置に関し、足側面の接触を検出できるようにした歩行制御に関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

従来、所謂二脚歩行式ロボットは、前もって設定された歩行パターン（以下、歩容という）データを生成して、この歩容データに従って歩行制御を行なって、所定の歩行パターンで脚部を動作させることにより二脚歩行を実現するようにしている。

ところで、このような二脚歩行式ロボットは、例えば路面状況、ロボット自体の物理パラメータの誤差等によって歩行の際の姿勢が不安定になりやすく、場合によっては転倒してしまう。

【0 0 0 3】

これに対して、歩容データを前もって設定せずに、リアルタイムにロボットの歩行状態を認識しながら歩行制御を行なうようにすれば、歩行の際の姿勢を安定させて歩行を行なわせることも可能であるが、このような場合でも、予期しない路面状況等が発生した場合には、歩行姿勢が崩れてロボットが転倒してしまうことになる。

【0 0 0 4】

このため、歩行制御によって、ロボットの足裏における床反力と重力の合成モーメントがゼロとなる点（以下、ZMP（Zero Moment Point）という）を目標値に収束させる、所謂ZMP補償を行なう必要がある。

このようなZMP補償のための制御方法としては、例えば特開平5-305583号公報に示すように、コンプライアンス制御を利用して、ZMPを目標値に収束させ、ロボットの上体を加速させて修正する方法や、ロボットの足の接地場所を修正する制御方法が知られている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、このような制御方法においては、ZMP規範により、ロボットの安定化を図るようにしている。そして、このZMP規範においては、水平床反力を測定することが前提条件となっている。このため、従来の二脚歩行式ロボットにおいては、足裏に力センサを備えており、この力センサにより、足裏における水平床反力を測定するようにしている。

【0006】

しかしながら、このような構成の二脚歩行式ロボットにおいては、上述したように足裏に設けられた力センサは、水平床反力を測定するのみであって、例えば二脚歩行式ロボットの歩行動作中に、足部を移動させたとき、足部の側面が障害物に当たったような場合、二脚歩行式ロボットは、このような障害物への足側面の接触を認識することができず、歩行を続けようとして、場合によっては転倒してしまうことがあった。

【0007】

この発明は、以上の点にかんがみて、障害物等の物体に対する足側面の接触を検知して、歩行安定性を実現できるようにした歩行式移動装置と、その歩行制御装置及び歩行制御方法を提供することを目的としている。

【0008】

【課題を解決するための手段】

上記目的は、この発明の第一の構成によれば、本体と、本体の下部両側にて二軸方向に揺動可能に取り付けられた中間に膝部を有する複数本の脚部と、各脚部の下端に二軸方向に揺動可能に取り付けられた足部と、各脚部、膝部及び足部を揺動させる駆動手段と、要求動作に対応して、目標角度軌道、目標角速度、目標角加速度を含む歩容データを生成する歩容生成部と、この歩容データに基づいて上記駆動手段を駆動制御する歩行制御装置と、を備えており、上記歩行制御装置が、各足部における足裏に加わる力を検出する力センサと、上記力センサで検出された力のうち、水平床反力に基づいて、歩容生成部からの歩容データを修正する補償部と、を含んでいる二脚歩行式移動装置であって、上記力センサが、各足

部の足裏の複数に分割された領域にそれぞれ備えられていて、各足裏の端縁に隣接する領域に備えられた力センサが、それぞれ足側面の接触を検知すると共に、上記補償部が、足側面の接触を参照しながら、歩容生成部からの歩容データを修正することを特徴とする歩行式移動装置により、達成される。

【0009】

本発明による歩行式移動装置は、好ましくは、上記各分割部にそれぞれ備えられた力センサが、三軸力センサであって、上記各足裏の端縁に隣接する領域にて、対応する力センサの検出部材としてのソール外縁の少なくとも一部が、当該力センサを中心とする円弧面を形成している。

【0010】

本発明による歩行式移動装置は、好ましくは、上記各分割部にそれぞれ備えられた力センサが、三軸力センサであって、上記補償部が、各力センサからの検出信号に基づいて、六軸方向の力を演算する六軸力算出部と、力成分の分解により足側面の接触を検出する接触検知部と、を備えている。

【0011】

上記接触検知部は、好ましくは、各力センサからの検出信号が、床面からの力によるものか、床面上の物体との接触によるものかを判断して、どの力センサが足側面の接触を検出したかのフラグ情報を補償部に出力する。

【0012】

また、上記目的は、この発明の第二の構成によれば、本体と、本体の下部両側にて二軸方向に揺動可能に取り付けられた中間に膝部分を有する複数本の脚部と、各脚部の下端に二軸方向に揺動可能に取り付けられた足部と、各脚部、膝部及び足部を揺動させる駆動手段と、から成る歩行式移動装置に関して、要求動作に対応して歩容生成部により生成される、目標角度軌道、目標角速度、目標角加速度を含む歩容データに基づいて上記駆動手段を駆動制御すると共に、各足部における足裏に加わる力を検出する力センサと、上記力センサで検出された力のうち、水平床反力に基づいて歩容生成部からの歩容データを修正する補償部と、を含んでいる歩行式移動装置の歩行制御装置であって、上記力センサが、各足部の足裏の複数に分割された領域にそれぞれ備えられていて、各足裏の端縁に隣接する

領域に備えられた力センサが、それぞれ足側面の接触を検知すると共に、上記補償部が、足側面の接触を参照しながら、歩容生成部からの歩容データを修正することを特徴とする歩行式移動装置の歩行制御装置により、達成される。

【0013】

本発明による歩行式移動装置の歩行制御装置は、好ましくは、上記各分割部にそれぞれ備えられた力センサが、三軸力センサであって、上記各足裏の端縁に隣接する領域にて、対応する力センサの検出部材としてのソール外縁の少なくとも一部が、当該力センサを中心とする円弧面を形成している。

【0014】

本発明による歩行式移動装置の歩行制御装置は、好ましくは、上記各分割部にそれぞれ備えられた力センサが、三軸力センサであって、上記補償部が、各力センサからの検出信号に基づいて、六軸方向の力を演算する六軸力算出部と、力成分の分解により足側面の接触を検出する接触検知部と、を備えている。

【0015】

上記接触検知部は、好ましくは、各力センサからの検出信号が、床面からの力によるものか、床面上の物体との接触によるものかを判断して、どの力センサが足側面の接触を検出したかのフラグ情報を補償部に出力する。

【0016】

さらに、上記目的は、この発明の第三の構成によれば、本体と、本体の下部両側にて二軸方向に揺動可能に取り付けられた中間に膝部分を有する複数本の脚部と、各脚部の下端に二軸方向に揺動可能に取り付けられた足部と、各脚部、膝部及び足部を揺動させる駆動手段と、から成る歩行式移動装置に関して、要求動作に対応して歩容生成部により生成される、目標角度軌道、目標角速度、目標角加速度を含む歩容データに基づいて上記駆動手段を駆動制御すると共に、各足部における足裏に加わる力を力センサにより検出して、上記力センサで検出された力のうち、水平床反力に基づいて、補償部により歩容生成部からの歩容データを修正する歩行式移動装置の歩行制御方法であって、各足部の足裏の複数に分割された領域にてそれぞれ力センサにより力を検出する第一の段階と、各力センサのうち、足裏の端縁に隣接する領域に備えられた力センサからの検出信号により、そ

れぞれ足側面の接触を検知する第二の段階と、上記補償部が、足側面の接触を参照しながら歩容生成部からの歩容データを修正する第三の段階と、を含んでいることを特徴とする歩行式移動装置の歩行制御方法により、達成される。

【0017】

本発明による歩行式移動装置の歩行制御方法は、好ましくは、上記各分割部にそれぞれ備えられた力センサが、三軸力センサであって、上記各足裏の端縁に隣接する領域にて、対応する力センサの検出部材としてのソール外縁の少なくとも一部が、当該力センサを中心とする円弧面を形成している。

【0018】

本発明による歩行式移動装置の歩行制御方法は、好ましくは、上記各分割部にそれぞれ備えられた力センサが、三軸力センサであって、上記補償部が、各力センサからの検出信号に基づいて、六軸方向の力を演算する六軸力算出部と、力成分の分解により足側面の接触を検出する接触検知部と、を備えている。

【0019】

上記接触検知部は、好ましくは、各力センサからの検出信号が、床面からの力によるものか、床面上の物体との接触によるものかを判断して、どの力センサが足側面の接触を検出したかのフラグ情報を補償部に出力する。

【0020】

上記構成によれば、各足部の足裏の複数の分割された領域にそれぞれ設けられた力センサにより検出した水平床反力に基づいて、補償部により歩容生成部からの歩容データを修正して駆動手段を駆動制御する。その際、補償部は、上記力センサのうち、各足裏の端縁に隣接する領域に備えられた力センサにより検知された足側面の接触を参照しながら、歩容データの修正を行なう。

【0021】

従って、ロボットの各足部が歩行動作中に、足側面が物体に接触したときには、足側面の接触を力センサにより検知して、この足側面の接触を参照しながら、足裏の床面との摩擦力によって生ずる水平床反力に基づいて、歩容データを修正することにより、本体、好ましくはロボットの上体の安定化を図るようになっている。これにより、ロボットの各足部が、例えば床面上に在る障害物や段差等に

当たったときでも、足側面の接触を検知して歩容データを修正することにより、ロボットの安定性を確保することができ、転倒することがなく、確実に歩行制御を行なうことが可能である。

【0022】

上記各分割部にそれぞれ備えられた力センサが三軸力センサであって、上記各足裏の端縁に隣接する領域にて、対応する力センサの検出部材としてのソール外縁の少なくとも一部が、当該力センサを中心とする円弧面を形成している場合には、これらの領域の外縁の円弧面の部分に物体が接触したとき、接触点と力センサの距離が常に等しいことから、力センサの検出信号に基づいて接触力を計算する際の計算が簡略化され、検出時間を短縮することができる。

【0023】

上記各分割部にそれぞれ備えられた力センサが三軸力センサであって、上記補償部が、各力センサからの検出信号に基づいて、六軸方向の力を演算する六軸力算出部と、力成分の分解により足側面の接触を検出する接触検知部と、を備えている場合には、六軸力算出部により、少なくとも二つの三軸力センサにより六軸方向の力を演算することができるので、各分割部には、それぞれ安価な三軸力センサを備えることにより、六軸力センサと同様に六軸方向の力を検出することができると共に、コストを低減することができる。また、接触検知部にて力成分を分解して、力センサの構成に基づいて、どの力センサが足側面の接触を検知しているかを判別することにより、足側面の接触を検知することができる。

【0024】

上記接触検知部が、各力センサからの検出信号が床面からの力によるものか、床面上の物体との接触によるものかを判断して、どの力センサが足側面の接触を検出したかのフラグ情報を補償部に出力する場合には、補償部は、このフラグ情報に基づいて、どの力センサが足側面の接触を検知したかを参照しながら、歩容生成部からの歩容データの修正を行なうことができる。

【0025】

【発明の実施の形態】

以下、図面に示した実施形態に基づいて、この発明を詳細に説明する。

図1乃至図2は、この発明による歩行式移動装置を適用した二脚歩行式ロボットの一実施形態の構成を示している。

図1において、二脚歩行式ロボット10は、本体である上体11と、上体11の下部両側に取り付けられた中間に膝部12L、12Rを備えた二本の脚部13L、13Rと、各脚部13L、13Rの下端に取り付けられた足部14L、14Rと、を含んでいる。

【0026】

ここで、上記脚部13L、13Rは、それぞれ六個の関節部、即ち上方から順に、上体11に対する腰の脚部回旋用（z軸周り）の関節部15L、15R、腰のロール方向（x軸周り）の関節部16L、16R、腰のピッチ方向（y軸周り）の関節部17L、17R、膝部12L、12Rのピッチ方向の関節部18L、18R、足部14L、14Rに対する足首部のピッチ方向の関節部19L、19R、足首部のロール方向の関節部20L、20Rを備えている。なお、各関節部15L、15R乃至20L、20Rは、それぞれ関節駆動用モータにより構成されている。

【0027】

このようにして、腰関節は、上記関節部15L、15R、16L、16R、17L、17Rから構成され、また足関節は、関節部19L、19R、20L、20Rから構成されることになる。さらに、腰関節と膝関節との間は、大腿リンク21L、21Rにより連結されており、また膝関節と足関節との間は、下腿リンク22L、22Rにより連結されている。

これにより、二脚歩行式ロボット10の左右両側の脚部13L、13R及び足部14L、14Rは、それぞれ6自由度を与えられ、歩行中にこれらの12個の関節部をそれぞれ駆動モータにて適宜の角度に駆動制御することにより、脚部13L、13R、足部14L、14R全体に所望の動作を与えて、任意に三次元空間を歩行することができる。

【0028】

さらに、上記足部14L、14Rは、足裏（下面）に、力センサ23L、23Rを備えている。この力センサ23L、23Rは、後述するようにそれぞれ各足

部 14 L, 14 Rにおける力、特に水平床反力 F を検出している。

【0029】

なお、上記上体 11 は、図示の場合、単に箱状に示されているが、実際には、頭部や両手を備えていてもよい。

【0030】

図 2 は図 1 に示した二脚歩行式ロボット 10 の電氣的構成を示している。図 2 において、二脚歩行式ロボット 10 は、要求動作に対応して歩容データを生成する歩容生成部 24 と、この歩容データに基づいて、駆動手段、即ち上述した各関節部即ち関節駆動用モータ 15 L, 15 R 乃至 20 L, 20 R を駆動制御する歩行制御装置 30 と、を備えている。なお、二脚歩行式ロボット 10 の座標系として、前後方向を x 方向（前方+）、横方向を y 方向（内方+）そして上下方向を z 方向（上方+）とする x y z 座標系を使用する。

【0031】

上記歩容生成部 24 は、外部から入力される要求動作に対応して、二脚歩行式ロボット 10 の歩行に必要な各関節部 15 L, 15 R 乃至 20 L, 20 R の目標角度軌道、目標角速度、目標角加速度を含む歩容データを生成する。

【0032】

上記歩行制御装置 30 は、角度計測ユニット 31 と、補償部 32 と、制御部 33 と、モータ制御ユニット 34 と、から構成されている。

上記角度計測ユニット 31 は、各関節部 15 L, 15 R 乃至 20 L, 20 R の関節駆動用モータに備えられた、例えばロータリエンコーダ等により各関節駆動用モータの角度情報が入力されることにより、各関節駆動用モータの角度位置、即ち角度及び角速度に関する状態ベクトル ϕ を計測して、補償部 32 に出力している。

【0033】

上記補償部 32 は、図 3 に示すように、六軸力算出部 32 a と、接触検知部 32 b と、補償部本体 32 c と、を備えている。

上記六軸力算出部 32 a は、力センサ 23 L, 23 R からの検出出力に基づいて、六軸力 (F_x , F_y , F_z , T_x , T_y , T_z) を補償部本体 32 c に出力

する。

また、接触検知部 3 2 b は、力センサ 2 3 L, 2 3 R からの検出出力に基づいて力成分を分解し、各力センサ 2 3 L, 2 3 R の各検出出力が、床面からの力によるものか、床面上に在る物体との接触によるものかを判断し、前もってセンサ構成情報部 3 2 d に記録されているセンサ構成情報を参照しながら、各力センサ 2 3 L, 2 3 R のどの力センサ 3 6 a, 3 6 b, 3 6 c, 3 6 d (後述) が足側面の接触を検知したかを判別して、当該力センサのフラグ情報を補償部本体 3 2 c に出力する。

【0034】

その際、接触検知部 3 2 b は、各力センサのタッチセンサとしての出力信号 { $S_{wx}(0)$, $S_{wy}(0)$, $S_{wz}(0)$; $S_{wx}(1)$, $S_{wy}(1)$, $S_{wz}(1)$; ... } を出力するが、足側面の接触を検知した力センサの出力信号のフラグを例えば 0 から 1 に設定することにより、各力センサのフラグ情報を出力する。

【0035】

これにより、補償部本体 3 2 c は、六軸力算出部 3 2 a からの六軸力に基づいて水平床反力 F を演算し、さらに接触検知部 3 2 b からのフラグ情報を参照して、この水平床反力 F 及び角度計測ユニット 3 1 からの状態ベクトル ϕ に基づいて歩容生成部 2 4 からの歩容データを修正し、ベクトル θ_i ($i=1$ から n 、ただし、 n はロボット 10 の歩行に関する自由度) を制御部 3 3 に出力する。

【0036】

上記制御部 3 3 は、補償部 3 2 で修正された歩容データであるベクトル θ_i から、ロボットの各関節部における角度ベクトル θ_0 を減算して、ベクトル ($\theta_i - \theta_0$) に基づいて、各関節駆動用モータの制御信号、即ちトルクベクトル τ を生成する。

上記モータ制御ユニット 3 4 は、制御部 3 3 からの制御信号 (トルクベクトル τ) に従って各関節駆動用モータを駆動制御する。

【0037】

ここで、上記力センサ 2 3 L, 2 3 R は、左右対称の構成であるから、力セン

サ 2 3 L について、図 4 を参照して説明する。

図 4 において、力センサ 2 3 L は、足部 1 4 L の下面である足裏板 3 5 の下側にて、水平方向に分割して、即ち x 方向に二分割、y 方向に二分割して設けられた、四個の力センサ 3 6 a, 3 6 b, 3 6 c, 3 6 d として構成されている。

【0038】

各力センサ 3 6 a, 3 6 b, 3 6 c, 3 6 d は互いに同じ構成であり、力センサ 3 6 a について、以下に説明する。

力センサ 3 6 a は、上方のソール 3 7 と下方のソール 3 8 との間に取り付けられた三軸力センサであって、下方のソール 3 8 が受ける力を検出するようにになっている。

【0039】

ここで、下方のソール 3 8 は、力センサ 3 6 a のセンサ軸を中心に前後左右に揺動可能に支持されており、全方位について揺動により接地し得るようになっており、足部 1 4 L の外縁に隣接する部分には、上方に向かって立ち上がる側壁 3 8 a を備えている。これにより、足部 1 4 L が、床面上に在る物体に対して側方に当たったとき、下方ソール 3 8 の側壁 3 8 a が当該物体に衝突して、その衝撃力が力センサ 3 6 a に伝達して、力センサ 3 6 a がこの接触を検出することができる。

【0040】

なお、この場合、力センサ 2 3 L 及び 2 3 R は、それぞれ四個に分割されているが、これに限らず、少なくとも各足部 1 4 L, 1 4 R のかかと部の両側及び足先部の両側の四個に分割されていればよく、さらに五個以上に分割されていてもよい。また、各力センサ 3 6 a 乃至 3 6 d は、図示の場合、足裏にて整列して配置されているが、これに限らず、任意に配置されていてもよい。

【0041】

ところで、一般的には同一平面上に四個以上の力センサが設けられていても、すべての力センサが着地した状態で、それぞれ力を検出することは幾何学的にも不可能になり、四個目以上は、冗長となる。

しかしながら、この場合には、各分割部が互いに分割されていることにより、

すべての力センサ 36 a 乃至 36 d が床面に着地可能となり、冗長な力センサがなくなって、各力センサがそれぞれ力を検出することができる。

【0042】

従って、足部 14 L, 14 R の床面への着地により加えられる力は、各力センサ 36 a 乃至 36 d に分散して印加されることになるので、各力センサ 36 a 乃至 36 d は、小型で軽量のものを使用することができ、これにより、各力センサ 36 a 乃至 36 d のコストを低減することができる。

また、各力センサ 36 a 乃至 36 d に印加される力が小さくなるので、解像度が向上することになる。従って、同じ解像度を得るためには、各力センサ 36 a 乃至 36 d を受けて AD 変換する AD コンバータとして、比較的性能が低く安価なものを使用することができるので、AD コンバータのコストを低減することができる。

【0043】

ここで、上述した各力センサ 36 a 乃至 36 d は、三軸力センサであるが、二個以上の三軸力センサが在れば、六軸方向の力を演算することができる。

以下、一般的に n 個の三軸力センサから、六軸方向の力を演算する場合について図 5 を参照して説明する。図 5 において、足裏にて、力計測の原点 O (O_x , O_y) に対して、 n 個の三軸力センサ S_1 , S_2 , S_3 , \dots , S_n が配置されている。なお、力計測の原点 O は、例えば足部の関節の駆動座標系に一致させることが好ましい。

ここで、各三軸力センサ S_i の位置を、 $S_i = (X(i), Y(i))$ とすると、六軸方向の力は、それぞれ以下の式で与えられる。

【0044】

即ち、各方向の力 F_X , F_Y , F_Z は、

【数 1】

$$F_X = \sum_{i=1}^n f_{X(i)} \quad (1)$$

【数 2】

$$F_Y = \sum_{i=1}^n f_{Y(i)} \quad (2)$$

【数 3】

$$F_Z = \sum_{i=1}^n f_{Z(i)} \quad (3)$$

で与えられ、また各方向のトルク T_X , T_Y , T_Z は、

【数 4】

$$T_X = \sum_{i=1}^n f_{Z(i)} \cdot (Y(i) - O_Y) \quad (4)$$

【数 5】

$$T_Y = \sum_{i=1}^n f_{Z(i)} \cdot (X(i) - O_X) \quad (5)$$

【数 6】

$$T_Z = \sum_{i=1}^n f_{Y(i)} \cdot \cos \alpha + f_{X(i)} \cdot \sin \alpha \sqrt{(X(i) - O_X)^2 + (Y(i) - O_Y)^2} \quad (6)$$

で与えられる。ただし、上記式 (6) において、 α は、

【数 7】

$$\alpha = \arctan \left(\frac{X(i) - O_X}{Y(i) - O_Y} \right) \quad (7)$$

で与えられる。

このようにして、各三軸力センサ 36 a 乃至 36 d の検出出力に基づいて、補償部 32 内に設けられた六軸力算出部 32 a により演算が行なわれ、六軸方向の力が検出されることになる。

【0045】

さらに、これらの六軸方向の力から、水平床反力 F は、床面とロボット 10 の足裏の摩擦力によって生ずる水平方向の力、即ち上記 X 方向及び Y 方向の力 F_X , F_Y の合力として表わされ、そのベクトル F_C 及び大きさ $|F_C|$ は、

【数 8】

$$F_C = \begin{bmatrix} F_X \\ F_Y \end{bmatrix}, \quad |F_C| = \sqrt{F_X^2 + F_Y^2} \quad (8)$$

で表わされる。

【0046】

なお、各三軸力センサ36a乃至36dは、個々の検出出力のバラツキがあると共に、周囲の温度、経年変化等によって検出出力が変動する。従って、各三軸力センサ36a乃至36dの検出出力は、例えば自動キャリブレーションにより補償部32内にて自動的に較正される。

【0047】

本発明実施形態による二脚歩行式ロボット10は以上のように構成されており、歩行動作は、図6に示すフローチャートにより以下のように行なわれる。

図6において、先ずステップST1にて、歩容生成部24が、入力された要求動作（J=J）に基づいて歩容データを生成し、歩行制御装置30の補償部32へ出力する。

そして、ステップST2にて、双方の足部14L、14Rに備えられた力センサ23L、23Rがそれぞれ力を検出して、補償部32の六軸力算出部32a及び接触検知部32bへ出力する。

これと並行して、ステップST3にて、角度計測ユニット31が、各関節部16L、16R乃至20L、20Rの状態ベクトル ϕ を計測して、補償部32へ出力する。

【0048】

そして、ステップST4にて、六軸力算出部32aが、力センサ23L、23Rの各力センサ36a乃至36dの検出出力に基づいて六軸力を算出し、補償部本体32cへ出力する。

これと並行して、ステップST5にて、接触検知部32bが、力センサ23L、23Rの各力センサ36a乃至36dの検出出力に基づいて、後述するように、どの力センサ36a乃至36dが足側面の接触を検知しているかを判断して、当該力センサ36a乃至36dのフラグ情報を補償部本体32cへ出力する。

【0049】

これにより、ステップST6にて、補償部32の補償部本体32cが、六軸力算出部32aからの六軸力に基づいて水平床反力Fを演算する。

そして、ステップST7にて、補償部32の補償部本体32cが、この水平床反力F及び角度計測ユニット31からの各関節部16L, 16R乃至20L, 20Rの状態ベクトル ϕ に基づいて、接触検知部32bからのフラグ情報を参照しながら、歩容データを修正し、ベクトル θ_i を制御部33へ出力する。

【0050】

次に、ステップST8にて、制御部33は、ベクトル θ_i からロボットの各関節部における角度ベクトル θ_0 を減算して、ベクトル $(\theta_i - \theta_0)$ に基づいて各関節駆動用モータの制御信号、即ちトルクベクトル τ を生成し、モータ制御ユニット34へ出力する。

そして、ステップST9にて、モータ制御ユニット34が、このトルクベクトル τ に基づいて、各関節部の関節駆動用モータを駆動制御する。

これにより、二脚歩行式ロボット10は、要求動作に対応して歩行動作を行なうことになる。

【0051】

その後、ステップST10にて、制御部33が、動作カウンタインクリメントにより $J = J + 1$ として、所定のサンプリング時間になるまで待機した後、ステップST11にて、上記Jが前以て決められた動作終了カウント以下の場合には再びステップ2に戻って、上記動作を繰り返す。

そして、ステップST11にて、上記Jが動作終了カウントを超えた場合には動作を終了する。

【0052】

ここで、上述したステップST5における接触検知部32bによる足側面の接触の検知は、図7のフローチャートに示すようにして行なわれる。図7において、接触検知部32bは、初期条件 $K = 0$ から、ステップST21にて、 $K = K + 1$ として、ステップST22にて、K番目（各力センサ23L, 23Rの個々の力センサ36a乃至36dには予め通し番号が付されている）の力センサ36a

乃至 36d の接触検知作業を開始する。図において、N 個のセンサを有している場合を説明しているが、ここでは $N=8$ 、即ち $K=1\sim 8$ として説明する。

そして、ステップ ST23 にて、前もってセンサ構成情報部 32d に記録されているセンサ構成情報から、当該力センサの足中心方向を取得して、三軸に関して、その方向を正と設定する。

【0053】

続いて、ステップ ST24 にて、当該力センサ 36a 乃至 36d が力を検知すると、ステップ ST25 にて、接触検知部 32b は、X 方向に関して、正の力を検出しているか否か ($F_x(K) > 0?$) を判断し、正の力である場合には、ステップ ST26 にて、当該力センサに関してフラグを立てる ($Sw_x(K) = 1$ に設定) と共に、正の力でない場合には、ステップ ST27 にて、当該力センサに関してフラグを下ろす ($Sw_x(K) = 0$ に設定)。

【0054】

次に、ステップ ST28 にて、接触検知部 32b は、Y 方向に関して、正の力を検出しているか否か ($F_y(K) > 0?$) を判断し、正の力である場合には、ステップ ST29 にて、当該力センサに関してフラグを立てる ($Sw_y(K) = 1$ に設定) と共に、正の力でない場合には、ステップ ST30 にて、当該力センサに関してフラグを下ろす ($Sw_y(K) = 0$ に設定)。

【0055】

その後、ステップ ST31 にて、接触検知部 32b は、Z 方向に関して、正の力を検出しているか否か ($F_z(K) > 0?$) を判断し、正の力である場合には、ステップ ST32 にて、当該力センサに関してフラグを立てる ($Sw_z(K) = 1$ に設定) と共に、正の力でない場合には、ステップ ST33 にて、当該力センサに関してフラグを下ろす ($Sw_z(K) = 0$ に設定)。

【0056】

最後に、ステップ ST34 にて、接触検知部 32b は、上記各フラグ情報を補償部本体 32c に出力すると共に、 $K=8?$ の判定を行ない、 $K \neq 8$ の場合には、ステップ ST21 に戻って、 $K=K+1$ として、上記ステップ ST22 から ST34 の動作を繰り返し行なう。

また、 $K=8$ の場合には、接触検知の作業を終了する。

このようにして、図8 (A) に示すように、足部14Lに関して、左方から接触力を受けたとき、あるいは図8 (B) に示すように、足部14Lに関して、斜め下方から接触力を受けたとき、さらには図 (C) に示すように、左方及び斜め下方の複数方向から接触力を受けたとき、それぞれ力センサ36a及び／又は36dが、それぞれタッチセンサとして作用することにより、接触検知部32bによる接触検知が行なわれる。

【0057】

この場合、二脚歩行式ロボット10において、各関節駆動用モータの駆動制御の際に、補償部32の補償部本体32cにて、各足部14L, 14Rの足裏に設けられた力センサ23L, 23Rからの水平床反力Fに基づいて、接触検知部32bによる足側面の接触を示すフラグ情報を参照しながら、歩容データが修正され、ベクトル θ_i が生成されることにより、この水平床反力Fを規範として、ロボット10の安定性を得るようになっている。

これにより、ロボット10の各足部14L, 14Rが、例えば床面上に在る障害物や段差等に当たったとしても、足裏に設けられた力センサ23L, 23Rが足側面の接触を検知することができるので、従来のようにそのまま歩行動作を続行して場合によっては転倒してしまうようなことはなく、要求動作に対する歩行動作を確実に行なうことが可能になる。

【0058】

このようにして、本発明の実施形態による二脚歩行式ロボット10によれば、各足部14L, 14Rの足裏に設けられた力センサ23L, 23R、即ち複数に分割された足裏にそれぞれ設けられた三軸力センサ36a乃至36dからの検出信号から演算される水平床反力Fに基づいて、さらに接触検知部32bによる足側面の接触の検知を参照しながら、歩容データを修正することにより、足裏の床面との摩擦力により生ずる水平床反力Fを規範として歩行制御を行なうことができる。

さらに、力センサ23L, 23Rを側面に関するタッチセンサとしても利用して、足側面の接触を検知することができるので、簡単な構成になり低コストで、

床面上に在る障害物や段差等があっても、ロボット10の歩行安定化を実現することができる。

【0059】

上述した実施形態においては、力センサ23L, 23Rは、それぞれ図4に示すように、各力センサ36a乃至36dの下方のソール38の側壁38aが、全体として長方形の外形を有しているが、これに限らず、図9(A)に示すように、検出部材としての下方のソール38の側壁38aの少なくとも一部、図示の場合角部が、それぞれ各力センサ36a, 36b, 36c, 36dを中心とする半径R1, R2, R3, R4の円弧面として形成されていてもよい。このような構成により、円弧面として形成された側壁38aの部分に関して、床面上に在る障害物や段差等の物体が接触した場合、対応する力センサ36a乃至36dが接触力を計算する際に、これらの部分から力センサ36a乃至36dまでの距離が常に等しいことから、計算が簡略化され、検出時間が短縮され得ることになる。

さらに、図9(B)に示すように、各側壁38aの少なくとも一部が、それぞれ各力センサ36a乃至36dを中心とする互いに同じ半径Rの円弧面として形成されている場合には、各力センサ36a乃至36dにおける計算式のパラメータが同一になり、より計算が簡略化され、より一層検出時間が短縮され得ることになる。

【0060】

上述した実施形態においては、本発明を二脚歩行式ロボットに適用した場合について説明したが、これに限らず、他の各種機器を二本足で支持する共に、この二本足で歩行するようにした二脚歩行式移動装置や、さらには複数本の脚部で支持し且つ歩行を行なう歩行式ロボットや歩行式移動装置に対しても本発明を適用し得ることは明らかである。

【0061】

【発明の効果】

以上述べたように、この発明によれば、各足部の足裏の複数に分割された領域にそれぞれ設けられた力センサにより検出した水平床反力に基づいて、補償部により歩容生成部からの歩容データを修正して駆動手段を駆動制御する。その際、

補償部は、上記力センサのうち各足裏の端縁に隣接する領域に備えられた力センサにより検知された足側面の接触を参照しながら、歩容データの修正を行なう。

【0062】

従って、ロボットの各足部が歩行動作中に、足側面が物体に接触したときには、足側面の接触を力センサにより検知して、この足側面の接触を参照しながら、足裏の床面との摩擦力によって生ずる水平床反力に基づいて、歩容データを修正することにより、本体、好ましくはロボットの上体の安定化を図るようになっている。これにより、ロボットの各足部が、例えば床面上に在る障害物や段差等に当たったときでも、足側面の接触を検知して、歩容データを修正することにより、ロボットの安定性を確保することができ、転倒することがなく、確実に歩行制御を行なうことが可能である。

【0063】

上記各分割部にそれぞれ備えられた力センサが、三軸力センサであって、上記各足裏の端縁に隣接する領域にて、対応する力センサの検出部材としてのソール外縁の少なくとも一部が、当該力センサを中心とする円弧面を形成している場合には、これらの領域の外縁の円弧面の部分に物体が接触したとき、接触点と力センサの距離が常に等しいことから、力センサの検出信号に基づいて接触力を計算する際の計算が簡略化され、検出時間を短縮することができる。

【0064】

上記各分割部にそれぞれ備えられた力センサが、三軸力センサであって、上記補償部が、各力センサからの検出信号に基づいて、六軸方向の力を演算する六軸力算出部と、力成分の分解により足側面の接触を検出する接触検知部と、を備えている場合には、六軸力算出部により、少なくとも二つの三軸力センサにより六軸方向の力を演算することができるので、各分割部には、それぞれ安価な三軸力センサを備えることにより、六軸力センサと同様に六軸方向の力を検出することができると共に、コストを低減することができる。また、接触検知部により、力成分を分解して、力センサの構成に基づいて、どの力センサが足側面の接触を検知しているかを判別することにより、足側面の接触を検知することができる。

【0065】

上記接触検知部が、各力センサからの検出信号が床面からの力によるものか、床面上の物体との接触によるものかを判断して、どの力センサが足側面の接触を検出したかのフラグ情報を補償部に出力する場合には、補償部は、このフラグ情報に基づいて、どの力センサが足側面の接触を検知したかを参照しながら、歩容生成部からの歩容データの修正を行なうことができる。

【0066】

このようにして、本発明によれば、障害物等の物体に対する足側面の接触を検知して、歩行安定性を実現できるようにした、極めて優れた二脚歩行式移動装置と、その歩行制御装置及び歩行制御方法が提供される。

【図面の簡単な説明】

【図1】

この発明による二脚歩行式ロボットの一実施形態の機械的構成を示す概略図である。

【図2】

図1の二脚歩行式ロボットの電氣的構成を示すブロック図である。

【図3】

図1の二脚歩行式ロボットの歩行制御装置における補償部の構成を示すブロック図である。

【図4】

図1の二脚歩行式ロボットの各足部の足裏に設けられた力センサの構成を示すもので、(A)は平面図、(B)は断面図である。

【図5】

図4の各三軸力センサと力計測の基点の配置を示すグラフである。

【図6】

図1の二脚歩行式ロボットの歩行制御動作を示すフローチャートである。

【図7】

図1の二脚歩行式ロボットの接触検知動作を示すフローチャートである。

【図8】

図1の二脚歩行式ロボットにおける力センサによる足側面の接触検知の状態を

示す概略図である。

【図9】

図4に示した力センサの変形例を示す平面図である。

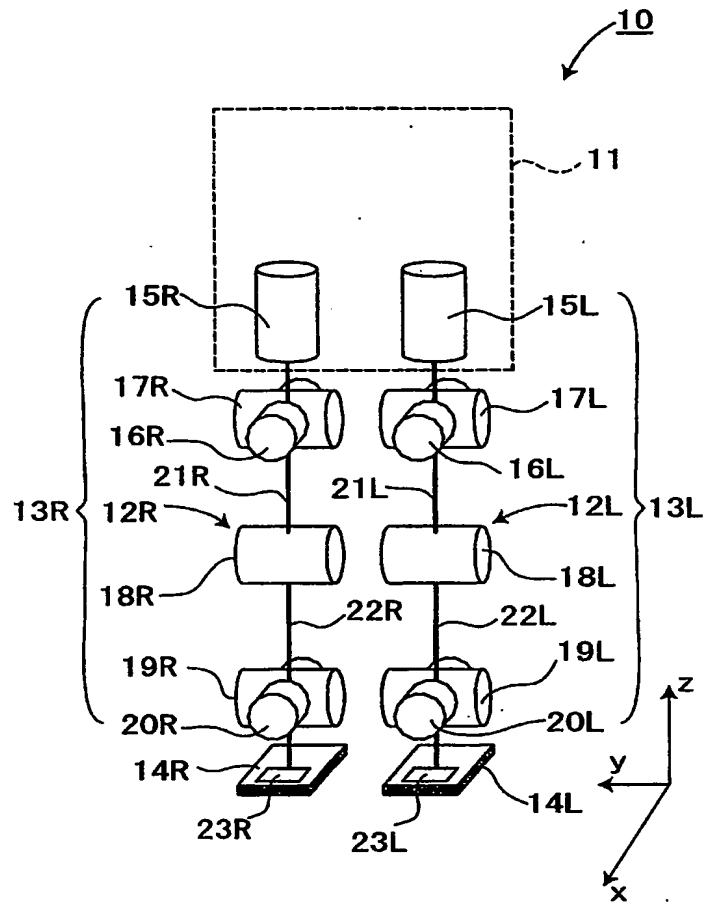
【符号の説明】

- 10 二脚歩行式ロボット
- 11 本体
- 12L, 12R 膝部
- 13L, 13R 脚部
- 14L, 14R 足部
- 15L, 15R乃至20L, 20R 関節部 (関節駆動用モータ)
- 21L, 21R 大腿部
- 22L, 22R 下腿部
- 23L, 23R 力センサ
- 24 歩容生成部
- 30 歩行制御装置
- 31 角度計測ユニット
- 32 補償部
- 32a 六軸力算出部
- 32b 接触検知部
- 32c 補償部本体
- 33 制御部
- 34 モータ制御ユニット
- 35 足裏板
- 36a乃至36d 三軸力センサ
- 37 上方のソール
- 38 下方のソール
- 38a 側壁

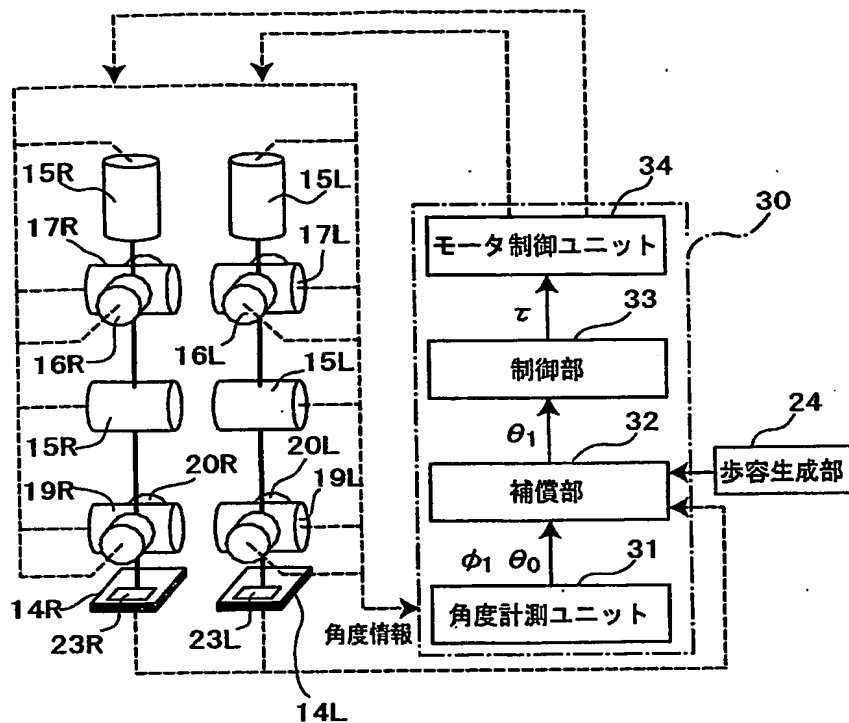
【書類名】

図面

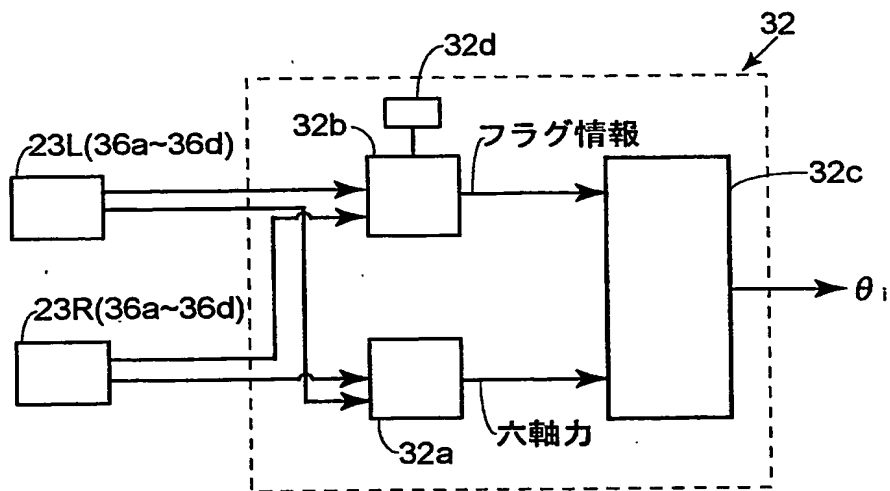
【図 1】



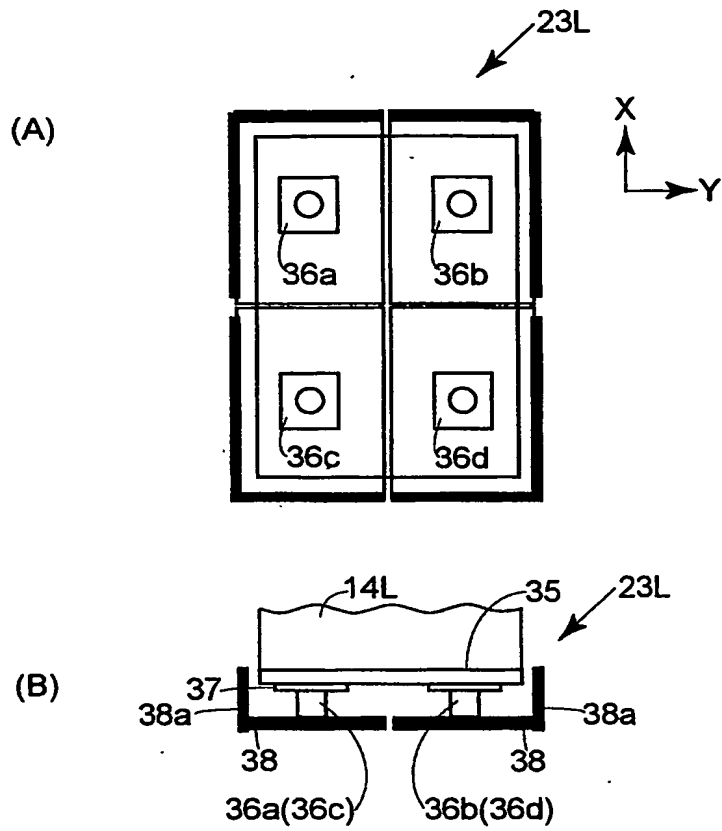
【図2】



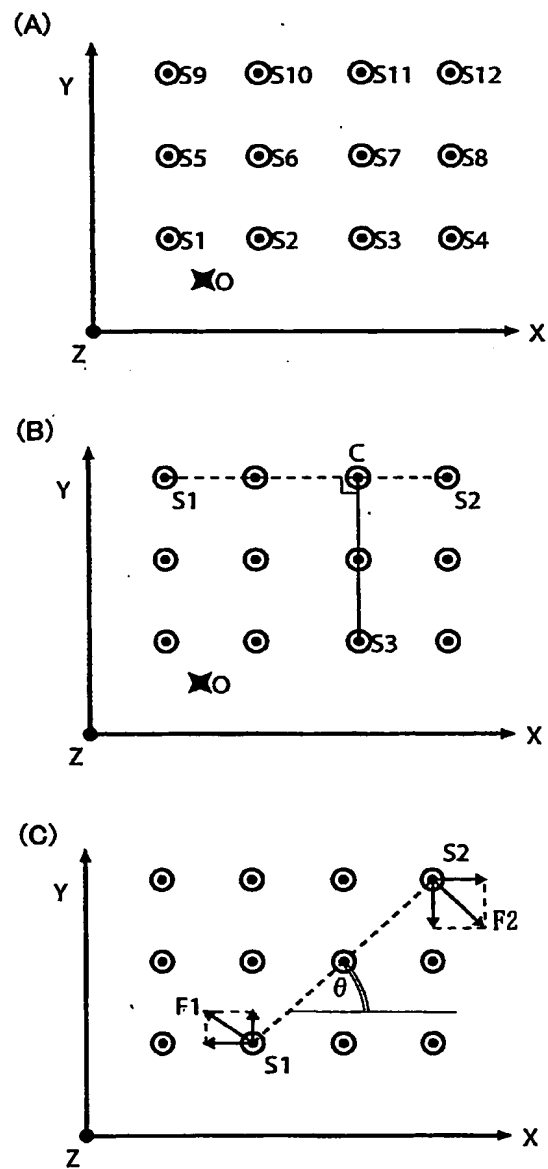
【図3】



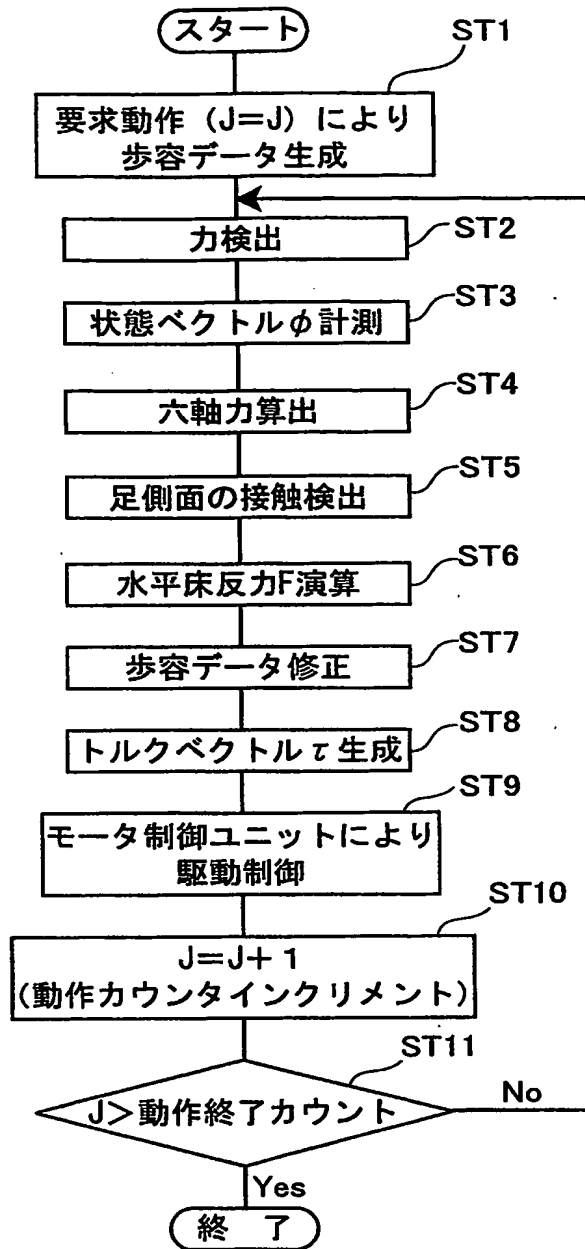
【図4】



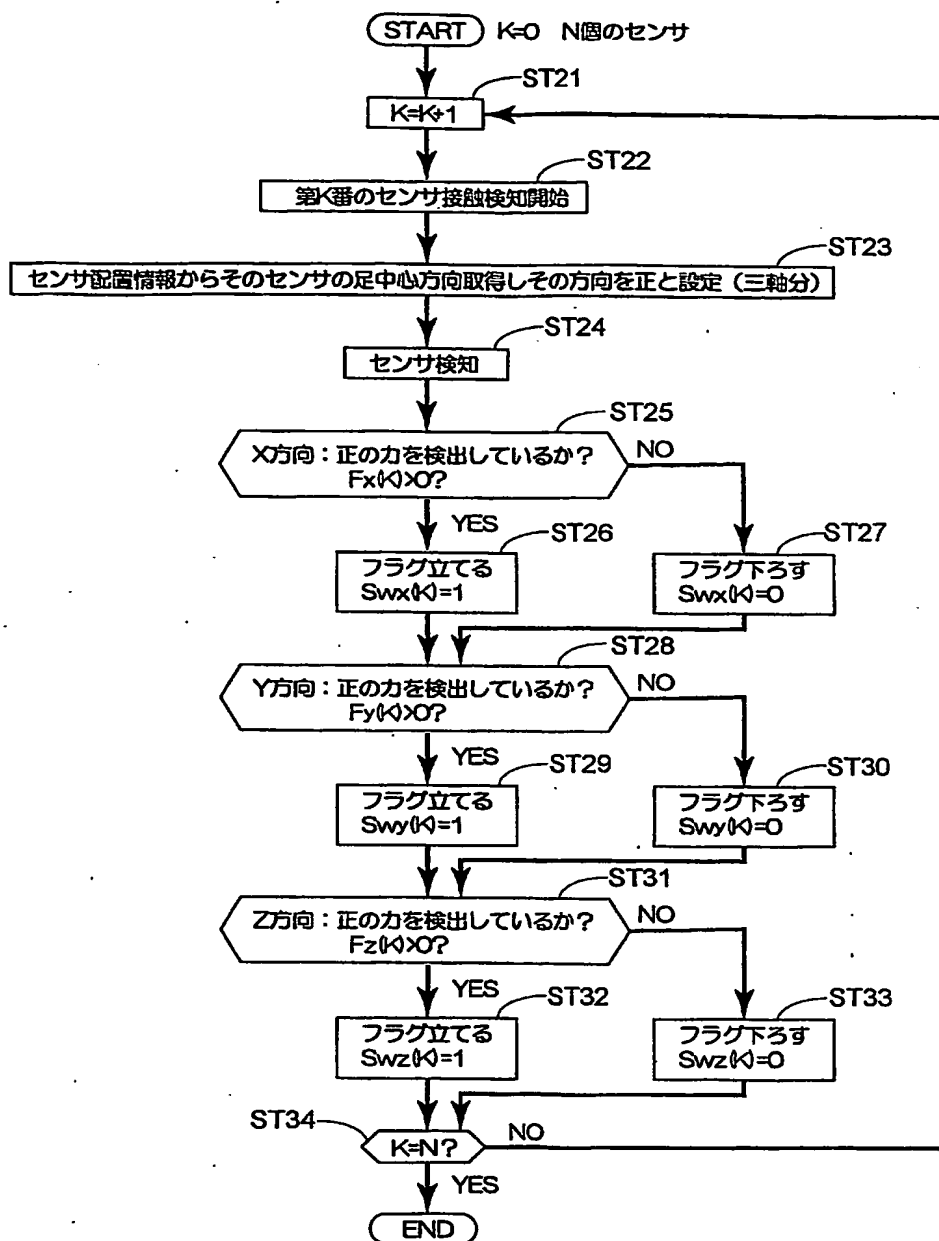
【図 5】



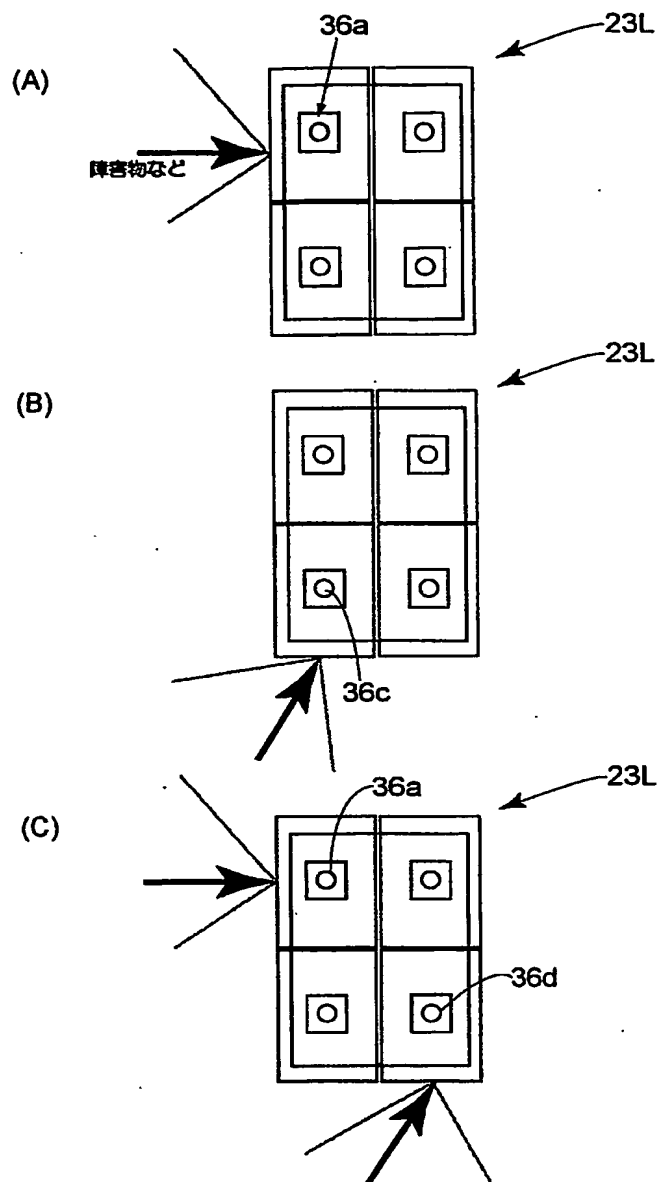
【図6】



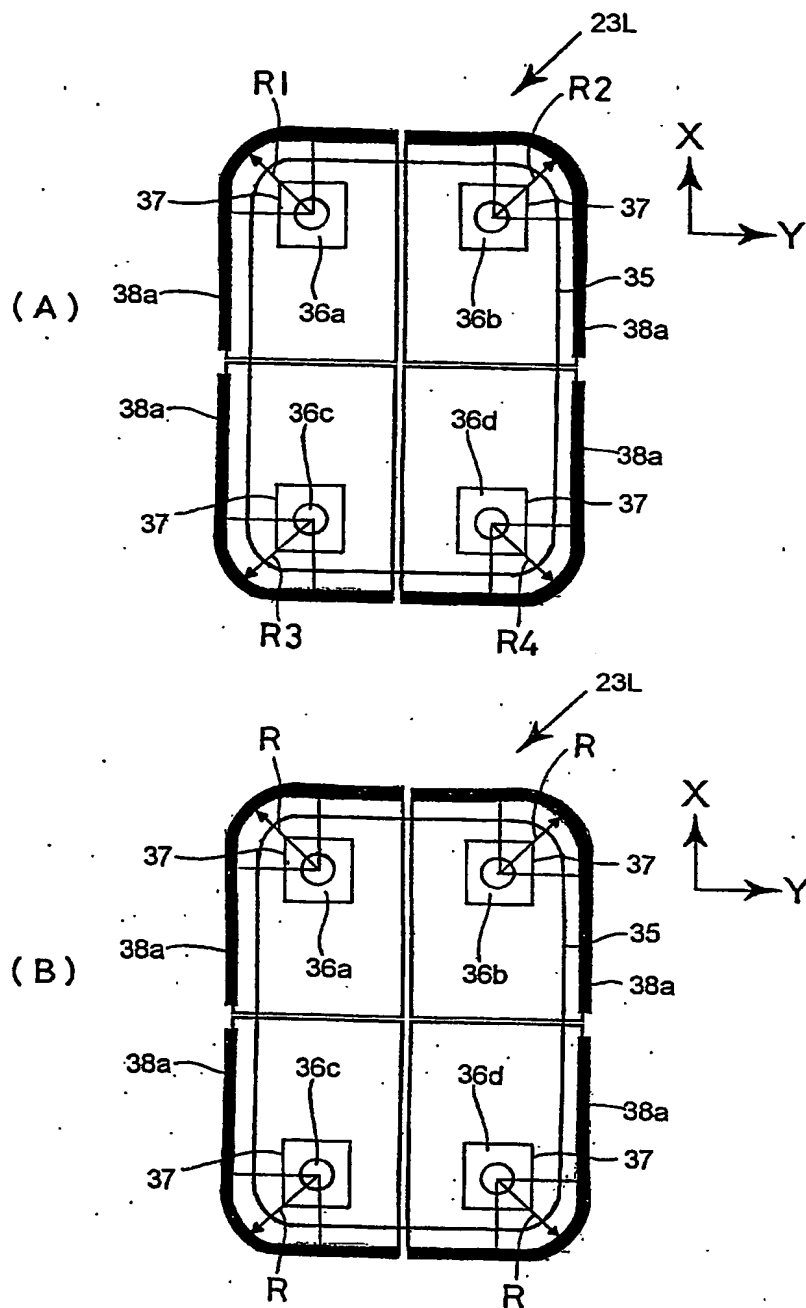
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 障害物等の物体に対する足側面の接触を検知して、歩行安定性を実現した歩行式移動装置と、その歩行制御装置及び歩行制御方法を提供する。

【解決手段】 歩容データに基づいて歩行式移動装置の各脚部の各関節部の駆動手段を駆動制御する歩行制御装置 30 において、各足部 14 L, 14 R における足裏に加わる力を検出する力センサ 23 L, 23 R と、力センサで検出した力のうち、水平床反力に基づいて歩容生成部からの歩容データを修正する補償部 32 とを含み、各力センサ 23 L, 23 R が、各足部 14 L, 14 R の複数に分割した足裏の各部に設けた三軸力センサから成り、各足裏の端縁に隣接する領域に備えられた力センサにより、接触検知部 32 b が足側面の接触を検知し、補償部が足側面の接触を参照しながら歩容生成部からの歩容データを修正するように、歩行制御装置 30 を構成する。

【選択図】 図 2

特願2002-172109

出願人履歴情報

識別番号

[396020800]

1. 変更年月日

1998年 2月24日

[変更理由]

名称変更

住 所

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

氏 名

科学技術振興事業団

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.